

Development of Monolithic Integrated Two-Wavelength Laser Diode Structures(モノリシ ック集積化二波長半導体レーザ構造に関する研究)

著者	宋 俊 錫
号	2983
発行年	2002
URL	http://hdl.handle.net/10097/8255

氏 名	ソ ン ジ ユ ン ソ ン
授 与 学 位	宋 俊 錫
学位授与年月日	博士 (工学)
学位授与の根拠法規	平成 15 年 3 月 24 日
研究科, 専攻の名称	学位規則第 4 条第 1 項
学位論文題目	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 応用物理学専攻
	Development of monolithically integrated two-wavelength laser diode structures
	(モノリシック集積化二波長半導体レーザ構造に関する研究)
指 導 教 官	東北大学教授 八百 隆文
論文審査委員	主査 東北大学教授 八百 隆文 東北大学教授 近藤 泰洋
	東北大学教授 粕谷 厚生 助教授 張 志豪
	(韓国海洋大学)

論文内容要旨

Compact multiple-wavelength light emitters attract much attention due to increasing requirements for a multi-functional optical pick-up module, ultra high density data storage, color-variable light source, medical equipment, and so on.

We propose a novel one-chip-two-wavelength light source which consists of a separate confinement single-quantum-well (SCH-SQW) ZnCdSe/ZnSe/ZnMgBeSe heterostructure for blue-green light emitters grown on SCH-MQW InGaP/InGaAlP for red light emitting devices. The merits of this structure are as follows: 1) lattice matching epitaxial growth can be achieved for both III-V and II-VI materials on a GaAs substrate, 2) the band gap of these material systems covers a wide range from blue to infrared, therefore various combinations are possible, 3) both of the two material systems have been well studied, ZnSe-based materials are suitable for blue-green light emitting devices and InGaP/InGaAlP red light sources are commercially available, 4) moreover, since InGaP/InGaAlP red light emitters are usually grown on miscut (001) GaAs substrates to prevent natural ordering, it is expected that the crystallographic tilt of the substrate has large positive influences on the material quality and device performance of II-VI device, 5) simple packaging will be possible as a result of monolithic integration because the two emitting light sources can be placed in a few μm distance from each other, which greatly simplifies the optics design.

The purpose of this thesis is to show the feasibility of one-chip-two-wavelength light emitting device

structure with vertical line-up of molecular beam epitaxy (MBE) grown ZnSe-based II-VI structures on metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) grown InGaP-based III-V structures. To achieve this goal, we have to investigate, firstly, the effect of low-temperature grown ZnSe (LT-ZnSe) buffer layers inserted in between high-temperature grown ZnSe (HT-ZnSe) and GaAs substrates to improve crystallinity of the ZnSe epilayers, secondly, the growth optimization of ZnSe on tilted GaAs (001) substrates, and lastly, the MBE growth and characterization of ZnCdSe/ZnSe/ZnMgBeSe quantum well structures on MOCVD grown a III-V red light emitter.

This thesis consists of seven chapters.

Chapter 1. Introduction

The first chapter describes the background and purpose of this thesis.

Chapter 2. Experimental

The second chapter describes the experimental methods used in this study. MBE is used for material preparation and the grown samples are characterized by X-ray diffraction, photoluminescence (PL) spectroscopy, transmission electron microscopy (TEM), secondary ion mass spectrometry (SIMS) and inductive coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). The physical backgrounds of these methods are described.

Chapter 3. The growth of high quality ZnSe layers

We have investigated the effect of a thin low-temperature-grown ZnSe buffer layer (LT-ZnSe) on improving ZnSe crystallinity by inserting it between the high-temperature-grown ZnSe (HT-ZnSe) epilayer and the GaAs substrate. In particular, the density of stacking fault defects, which are normally observed in ZnSe-based films grown on GaAs substrate, can be well reduced by inserting a thin LT-ZnSe buffer layer. A ZnSe film with stacking fault densities as low as $\sim 5.4 \times 10^4/\text{cm}^2$ was obtained by growing on Zn exposed (2x4) As-stabilized surfaces of GaAs buffer layer with LT-ZnSe buffer, in contrast, $\sim 7 \times 10^8/\text{cm}^2$ was obtained by directly growing on GaAs substrate, that is, without Zn exposure, LT-ZnSe, and GaAs buffer layers.

Chapter 4. ZnSe growth on miscut GaAs substrates

We report the growth optimization of MBE grown ZnSe on GaAs (001) substrate tilted by 15° toward [110] by adjusting beam equivalent pressure (BEP) ratio and growth temperature. A LT-ZnSe buffer was grown to suppress the formation of Ga-Se bonding, a well-known source of defect generation, due to interdiffusion through the heterointerface in the initial stage of growth. The ZnSe layer was further optimized by LT-ZnSe buffer. The optical and structural properties of the ZnSe film with LT-ZnSe and GaAs buffer are also analyzed by PL, XRD, and SIMS, which show very large intensity ratio of near-band-edge emission to deep level emission, narrow X-ray diffraction peak width of (004) rocking curves, and abrupt ZnSe/GaAs heterointerface under the optimum growth condition, respectively. The optimum growth conditions are: BEP ratio ($P_{\text{Se}}/P_{\text{Zn}}$) of 3 and growth temperature of 310°C with a LT-ZnSe buffer grown at 250°C .

Chapter 5. Control and determination of ZnMgBeSe quaternary alloy composition

The control and determination of $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Mg}_x\text{Be}_y\text{Se}$ quaternary alloy composition grown by molecular beam epitaxy was investigated. Compositions x and y of $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Mg}_x\text{Be}_y\text{Se}$ were measured by ICP-AES. The energy band gap of $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Mg}_x\text{Be}_y\text{Se}$ can be controlled in a range of $2.9\text{ eV} < E_g < 3.0\text{ eV}$ under nearly lattice matching condition to GaAs substrate.

Chapter 6. Feasibility of two-wavelength device structure

A novel light-emitting device which includes II-VI device structure directly grown on III-V device structure is proposed. This idea makes possible one-chip-two-wavelength operation in the visible wavelength region by the vertical integration of light emitters, which is demonstrated by a $\text{ZnCdSe}/\text{ZnSe}/\text{ZnMgBeSe}$ quantum-well structure for blue-green light emitter grown by MBE directly on MOCVD grown $\text{InGaP}/\text{InGaAlP}$ device wafer for red light emitting device. The feasibility of the II-VI/III-V complex light emitter is confirmed by optical-pumping experiment. Optically pumped lasing at 504 nm and 664 nm are achieved from II-VI and III-VI laser structures on one chip simultaneously at room temperature with a threshold power of $115\text{ KW}/\text{cm}^2$ and $84\text{ KW}/\text{cm}^2$, respectively. The present results clearly show the feasibility of epitaxial integration of II-VI and III-V light emitting device structures, which will stimulate the investigation of multi-functional optical devices.

Chapter 7. Conclusion

In conclusion,

1. This study demonstrates the effect of LT-ZnSe buffer layers inserted in HT-ZnSe/GaAs heterostructures to improve crystallinity of ZnSe epilayers.
2. The growth optimization of ZnSe on miscut GaAs (001) substrate is achieved.
3. The feasibility of the proposed one-chip-two-wavelength light emitting device structure with vertical line-up of MBE grown ZnSe-based II-VI structures on MOCVD grown InGaP-based III-V structures is demonstrated.

論文審査結果の要旨

多機能光ピックアップモジュール、超高密度情報ストレージ、多色光源、医療用装置等への応用の為コンパクトな多波長の光デバイスの研究開発の要求が高まっている。本研究では、この要求に対応出来るモノリシック集積化した二波長半導体レーザを提案する。レーザ構造は、赤色光レーザとしては有機金属気相エピタキシーによる $\text{InGaP}/\text{InGaAlP}$ 多重量子井戸を用いていた SCH (separate confinement heterostructure) 構造レーザを作製し、この上に青緑色光レーザとして分子線エピタキシーによる SCH-多重量子井戸構造 $\text{ZnCdSe}/\text{ZnSe}/\text{ZnMgBeSe}$ を作製して構成されている。本研究の目的は1チップで二波長発光を実現するデバイスの作製と応用の可能性を明らかにすることである。本論文はこの研究成果についてまとめたもので、全7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景及び目的を述べている。

第2章では本研究で使用された実験の方法とその物理的背景について記述している。

第3章では ZnSe と GaAs のヘテロ界面に低温成長 ZnSe バッファ層を挿入し、この低温 ZnSe バッファ層挿入の効果を調べた。すなわち、バッファ層挿入によって Se 分子線と GaAs の反応が抑制され、高温での ZnSe 成長が可能になったため、 ZnSe の結晶性が大幅に向上した。特に、積層欠陥の密度を大幅に減らすことが可能になり、デバイス開発を推し進める上で極めて重要な結果を得ることに成功した。

第4章では赤色光デバイス $\text{InGaP}/\text{InGaAlP}$ 成長には最適な $[110]$ 方向に 15° オフした GaAs (001) 基板上に分子線エピタキシー法で ZnSe の成長を行った。 GaAs 基板の表面ステップ端には Ga 原子で構成されているため、 Se との反応が起こり易い。これを抑制して高品質 ZnSe 薄膜成長が可能になるように成長温度と分子線のフラックス比を調節して成長条件を最適化した。この結果、成長の初期段階においてヘテロ界面での欠陥発生の原因になる Ga-Se の反応を低温 ZnSe バッファ層によって抑えることができた。 GaAs バッファ層と低温 ZnSe バッファ層上に成長した ZnSe エピタキシャル層を X 線回折法等の結晶学的手法や、フォトルミネッセンス法等の光学的手法によって評価した。

第5章では Be カルコゲナイド混晶 ZnMgBeSe の組成を高周波プラズマオージェ電子分光 (ICP-AES) 測定方法によって評価した。 Be カルコゲナイド混晶 ZnMgBeSe はレーザのクラッド層として用いるため、その組成比を測定し制御することは $\text{ZnCdSe}/\text{ZnSe}/\text{ZnMgBeSe}$ 量子井戸デバイスのバンド構造の解析と設計指針を与える上で重要な成果である。

第6章では $\text{InGaP}/\text{InGaAlP}$ 多重量子井戸 SCH 赤色レーザ構造と SCH-多重量子井戸構造 $\text{ZnCdSe}/\text{ZnSe}/\text{ZnMgBeSe}$ 構造から成る1チップ二波長光発光デバイスを作製し、室温における光励起レーザ発振の動作に成功した。これは、 $\text{II-VI}/\text{III-V}$ 光デバイスの作製において極めて重要な成果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、低温バッファ技術と GaAs (001) オフ基板上への分子線エピタキシーによる ZnSe の成長を実現・最適化してモノリシック集積化した二波長半導体レーザのフィジビリティを示したもので、応用物理学、半導体工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。